

감성과학, Vol.15, No.3, pp.345-354, September 2012

불안 및 우울에 대한 주관적 설문평가 지표와 맥파 신호 기반의 심박변이도 요소들 간의 상관관계 분석

An Analysis of Relationship between Self-Reported Anxiety, Depressiveness and Parameters of
Heart rate variability based on Photoplethysmography

이충기^{*,**} · 유선국^{**†}

Chung-Ki Lee^{*,**} · Sun Kook Yoo^{**†}

한국과학기술원 바이오닉스연구단^{*}

Bionics Research Group, Korea Institute of Science and Technology^{*}

연세대학교 의과대학 의학공학교실^{**}

Department of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine^{**}

Abstract

The purpose of this study is finding alternative parameters of the HRV so as to minimize the subjective errors by STAI and BDI, could be have two types of significant correlation levels depending on normalized method. Particularly, the LF/HF presented as the quantitative physiological parameter that can reflect both state-anxiety and trait-anxiety.

Keywords: Emotion, Anxiety, Depressiveness, Heart rate variability, Autonomic nervous system

요 약

본 논문의 목적은 불안과 우울 상태를 평가하는데 널리 사용되고 있는 주관적 설문 평가지(Beck의 우울척도, 상태-특성불안척도)의 지표 값과 심박 변이도의 파라미터 간의 상호-상관관계를 통계적으로 분석하여, 주관적 설문 평가지의 지표 값을 대신 할 수 있는 심박 변이도 파라미터를 선정하기 위함이다. 그리고 심박 변이도 측정 시, 휴식 및 업무 상태를 인위적으로 유도하였고 각 유도된 상태에서의 심박 변이도를 이용하여 추출된 생리학적 특징 값들과 주관적 설문 평가지의 지표 값의 상관관계를 통계적으로 분석하여 주관적 감성지표를 대체 할 수 있는 객관화된 정량적 지표를 도출하고자 한다. 본 논문의 결과로부터 얻을 수 있는 사실은 심박 변이도의 비 정규화 파라미터가 상태불안척도와 우울척도보다 특성불안척도와 더욱 높은 상관관계를 나타냈다는 점이다. 반면, 업무 상태와 휴식 상태의 비율인 정규화 파라미터 m_RRI(MeanRR interval), SDNN(Standard deviation of all NN intervals), LF(Low-Frequency), LF/HF(LF/HF ratio)는 특성불안척도, 우울척도보다 상태불안척도와 더 높은 상관관계를 나타냈다. 이 중, LF/HF는 상태불안뿐만 아니라, 특성불안을 반영할 수 있는 정량적인 생리학적 파라미터로 나타났다.

주제어: 감성, 불안, 우울, 심박 변이도, 자율신경계

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(NO. 2010-0026833)과 지식경제부 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 연구에 도움을 주신 이하나 연구원에게 감사의 글을 올립니다.

† 교신저자 : 유선국(연세대학교 의과대학 의학공학교실)

E-mail : sunkyoo@yuhs.ac

TEL : 02-2228-1919

FAX : 02-363-9923

1. 서론

인체의 자율신경계 통제 하에 자발적으로 유발되는 전기적 생체신호 중 하나인 심박 신호는 인간의 감성 상태를 생리학적 응답으로 나타내 줄 뿐만 아니라 신체의 건강상태를 추정할 수 있는 도구로써 여러 다양한 분야(의료, 인간공학, Interactive game 등)에서 연구되고 있고(B. M. SAYKRS, 1973; Osamu Fukiidal et al., 2001), 특히 감성공학에서의 심박의 변화는 인간의 감성을 정량화 하려는 많은 연구에 응용되고 있는 추세이다(A. John Camm et al., 1996; Carmilla M. M. Licht et al., 2009). 심박의 변화는 일반적으로 물리적인 운동이나 질병에 의한 생리학적 변화를 제외한 자율신경계(교감신경, 부교감신경)의 통제를 받는다. 외부 환경변화나 여러 요인(자발적인 심리 상태의 변화, 외부 스트레스, 정신질환 등)에 의해 체내 균형이 깨지면 자율신경계는 이를 회복시키기 위해 심박동의 변화를 발생시킨다는 연구결과가 있다(Peter A. Shapiro et al, 2000; R. P. SLOAN et al, 1996). 특히 외부 스트레스나 여러 요인에 의해 불안과 우울증세가 유발 될 수 있는데, 우울 증세를 나타내는 사람들은 그렇지 않은 사람들에 비해 심박의 변화가 적다는 연구결과가 있다(Toshikazu Shinba et al., 2008).

이와 같이 자율신경계의 통제 하에 민감하게 반응하는 심박의 변화는 자율신경계의 활성 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 비 침습적인 도구로 사용되며, Axel Bauer 등(2008)은 이러한 심박의 변화를 일정 시간 동안 기록하고 수치화된 값으로 계산하여 나타낸 것을 심박 변이도(Heart rate variability, HRV)라 정의하고 있다. 주로 HRV 검출 시 심전도(Electrocardiogram, ECG)가 이용되는데 정확성을 보장받을 수 있는 반면 가슴과 손, 발 등의 여러 신체 부위에 전극을 부착해야 하기 때문에 신호 측정에 번거로움이 따르게 된다. Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구를 개선하기 위하여 HRV 신호측정에 대한 부담을 최소화하고 편의성을 고려한 공학적 방법을 모색할 필요성이 있다. 맥파(photoplethysmography, PPG)는 손가락에 센서 하나만 부착시켜 측정하기 때문에 ECG에 비해 상대적으로 신호측정이 간편하여 u-health 분야에서도 응용되고 있으며 심장의 수축, 확장과 동시에 발생하는 심박동 현상을 그래프로 나타낸 것으로, ECG와 같이 자율신경계를 통해 생리적 반응을 측정하는 신호로 이용되고 있다(이현민, 김동준, 2009).

본 논문의 목적인 생체신호를 이용한 객관적 지표와 심리상태를 나타내는 주관적 지표와의 상관관계를 도출하기 위하여 객관적 지표로는 PPG측정을 통한 HRV 파라미터를 이용하였고 주관적 지표로는 심리상태를 정량적으로 평가할 수 있는 주관적 설문 평가지를 이용하였다. 다음의 연구(Joel W. Hughes, Ma & Catherine M. Stoney, 2000)를 토대로 하여 심리적인 우울증상의 정도를 측정하는 검사지로 Beck의 우울척도(Beck Depression Inventory, BDI)설문지를 선정하여 설문을 진행하였으며, 정상 성인의 불안 상태를 측정하는 도구로 제작된 설문지로 임상집단의 불안측정도 유용한 것으로 밝혀져 있는 상태-특성 불안 척도(STAI, State-Trait Anxiety Inventory, STAI) 설문지를 통해 우울과 불안상태를 평가하였다. 특히 본 연구에서는 여러 외부요인에 의한 우울과 상태 불안뿐만 아니라 인간의 기질적인 불안을 나타내는 특성 불안을 반영할 수 있는 HRV 파라미터를 도출하고자 한다.

본 연구에서 사용한 실험 프로토콜은 Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구에서는 단순히 움직이지 않는 상태를 휴식상태(Rest)로 정의하여 실험을 진행하였기 때문에 Rest에 대해 혼란의 여지가 있어 보완이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 혼란의 여지를 유발할 수 있는 Rest에 대한 정의를 더 강화하여 눈을 뜬 Rest와 눈을 감은 Rest 두 가지로 나누어 PPG 신호를 각각 취득했으며, 업무 상태(Task)는 눈을 뜬 상태에서 스트레스 유발과 관련하여 심리적 요소에 충분히 영향을 줄 수 있음을 고려한 방법을 선택하여 모니터를 통해 눈으로 들어오는 시각자극을 이용한 과제를 수행하는 동시에 PPG신호를 취득하였다. Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구에서는 Task 및 Rest의 두 가지 상태에 대한 실험을 진행한 반면 본 연구에서는 Rest의 상태를 분명히 하여 Task, Rest(Eye open), Rest(Eye close), Task/Rest(Eye open), Task/Rest(Eye close)의 총 다섯 가지의 상태로 세분화시켜 실험을 진행 하였다.

따라서 본 연구에서는 상태불안, 특성불안, 우울 정도를 나타내는 주관적 설문 평가지의 수치와 위의 다섯 가지 상태의 HRV 수치와의 상관관계를 도출하여 다양한 정신 질환의 생리학적 연구방법 및 정상인의 상태불안과 우울뿐만 아니라 기질적인 불안에 대한 정신적 건강을 정량적으로 평가할 수 있는 선별된 심박 변이도 분석 방법을 제안하고자 한다.

2. 방법 및 재료

2.1. 자가진단 설문 평가

Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구를 바탕으로 인지 및 감성상태 평가에 널리 사용되고 있는 Beck의 우울 척도 및 상태-특성 불안 척도의 수치화된 값과 실험자로부터 얻은 정량화된 HRV 파라미터 값과의 상관관계를 분석하였다. 본 연구에서 사용된 주관적 설문지는 다음과 같다.

2.1.1. Beck의 우울 척도 소개

Beck의 우울척도(Beck Depression Inventory, BDI)은 우울 정도를 측정하는 검사지로 사용된다(Philip C. Kendall et al., 1987). 1961년 Aaron T. Beck(1967)에 의해 처음 개발되었으며, 건강보호전문가와 조사자들에 의한 평가도구로 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. 우울증의 인지적, 정서적, 동기적, 신체적 증상영역을 포함하는 21문항으로 구성되어 있고 자기 보고식으로 실시하며 점수의 범위는 0~63점으로 우울하지 않은 상태(0~9점), 가벼운 우울 상태(10~15점), 중한 우울상태(15~23점), 심한 우울 상태(24~63점)로 우울상태를 해석한다. 이영호와 송종용(1991)에 의한 한국판 연구에서는 우울환자 집단(39명)을 대상으로 실시하였을 때의 평균점수는 23.46점(표준편차 8.43)이고 일반인 집단(51명)대상으로 실시하였을 때의 평균점수는 8.43점(표준편차 5.39)으로 나타났다. 본 연구에서는 총 19명의 정상인 실험자 집단(19명)으로 실험을 진행하였고, 총 실험에 대한 평균점수를 이용하였다. 평균점수는 5.31점(표준편차 3.97점)으로 나타났으며, 본 연구에서 이 측정된 BDI수치 값을 이용해 스트레스 자극으로 인한 심리적인 우울 정도를 평가하는데 사용되었다.

2.1.2. 상태-특성 불안 척도 소개

상태-특성 불안 척도(STAI, State-Trait Anxiety Inventory)는 정신장애가 없는 정상 성인의 불안 상태를 측정하는 도구로 이용된다(Spielberger, C.D, 1983; Spielberger, Gorsuch & Lushene, 1970). 원래 정상인의 불안 증상을 측정하는 도구로 개발되었으나, 임상집

단의 불안측정에도 유용한 것으로 밝혀져 있다(G. Laretzaki et al., 2010). 각각의 불안 척도의 채점결과는 최하 20점에서 최고 80점까지 얻을 수 있도록 구성되어 있다. 첫 번째로 ‘상태불안척도(STAI-X-1)’는 특수한 상황을 바로 그 순간에 어떻게 느끼는가를 묻는 20개 문항으로 구성되어 있다. 상태불안 수준이 약간 높음(52점~56점), 상태불안 수준이 상당히 높음(57점~61점), 상태불안 수준이 매우 높음(62점 이상)의 세 가지 상태로 불안 정도를 해석한다. 이영호와 송종용(1991)에 의한 한국판 연구에서는 대학생 집단(816명)대상으로 실시하였을 때 평균점수는 42.50점(표준편차 9.99)이다. 본 연구에서의 총 19명의 실험자(평균나이 29.95세)를 대상으로 한 총 실험에 대한 평균점수를 이용하였다. 평균점수는 36.68점(표준편차 6.23점)으로 한국판 연구에서의 수치보다 낮게 나타났다. 이 채점결과는 특수한 상황의 스트레스에 대한 불안 정도를 평가하기 위하여 사용되었다. 두 번째로 ‘특성불안척도(STAI-X-2)’는 개인이 선천적으로 타고난 정서적 불안 특성을 평가한다. 총 20개 문항으로 구성되어 있으며, 특성불안 수준이 약간 높음(54점~58점), 특성불안 수준이 상당히 높음(59점~63점), 특성불안 수준이 매우 높음(64점 이상)의 세 가지 상태로 불안 정도를 해석한다. 이영호와 송종용(1991)에 의한 한국판 연구에서는 대학생 집단(816명)대상으로 총 실험에 대한 평균점수를 이용하였다. 평균점수는 44.53점(표준편차 9.50)이다. 위와 동일한 실험자들에 대한 STAI-X-2의 평균점수는 36.31점(표준편차 8.07)로 한국판 연구에서의 수치보다 낮게 나타났다. 이 채점결과는 스트레스에 대한 순간적인 불안 정도를 평가하기 위함이 아닌 기질적인 정서적 불안 정도를 평가하기 위한 지표로 사용되었다.

2.2. 실험 및 환경

2.2.1. 피험자

실험은 정신적인 질환이나 심장질환 등 병력이 없는 사람들(남자 10명, 여자 9명)을 대상으로 진행하였다. 남자의 평균나이는 30.4세, 여자의 평균나이는 29.5세였다.

2.2.2. 실험 프로토콜과 데이터 취득

실험 전 BDI와 STAI-X-1, STAI-X-2의 3가지 주관적

설문 평가지를 통하여 우울과 불안상태를 평가하였다. 실험 프로토콜은 Rest(Eye close)-Task를 수행하는 part 1과 Rest(Eye open)-Task를 수행하는 part 2로 구성되어 있고 19명 피험자에 대해 part 1과 part 2의 실험을 각각 독립적으로 수행하였고 그 결과 part 1에 대한 19개의 데이터, part 2에 대한 19개의 데이터를 취득할 수 있었다. 실험과 동시에 약 3분의 PPG 측정을 진행하였기 때문에 part 별 PPG 신호는 총 2번 획득하였다. 외부자극이나 움직임 또는 주변에 의한 주의력 분산 등을 고려하여 실험 시작과 마지막 각 15초씩을 제외하고 분석하였다.

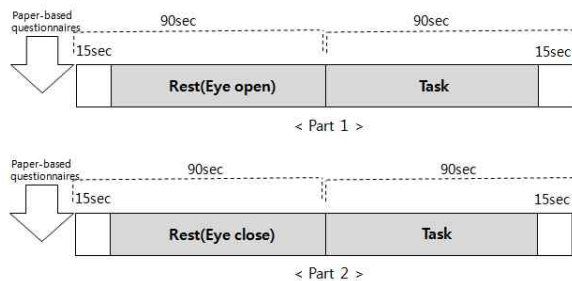


Figure 1. Laboratory protocol for participants

Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구에서는 피 실험자로부터 Rest와 Task일 때 각각 얻은 심박신호에서 HRV 파라미터를 추출하여 비례식을 통한 정규화를 진행하였다. 정규화 HRV 파라미터와 설문지의 값과의 상관관계는 불안 혹은 우울 정도가 높아짐에 따라 HRV가 감소했고, 특히 불안 상태를 나타내는 주관적 설문평가 지표들과 심박 수는 음의 상관관계를 나타냄을 연구하였다. Rest 유발을 눈을 감고 아무 일을 진행하지 않을 때와 눈을 뜨고 아무 일을 진행하지 않을 때의 두 가지로 정의하고 두 가지 상태를 각각 다른 그룹으로 분류하였다.

Task의 유발은 사건유발전위(Event-related Potential, ERP)를 이용하였다. 그림 2. 와 같이 시각자극으로는 {1,2,3}의 숫자 중에서 2개의 같은 숫자와 1가지의 다른 숫자로 이루어진 3개의 연속된 숫자조합을 실험자 앞에 놓인 모니터에 무작위로 나타나게 한다. 여기서 생성될 수 있는 숫자의 조합은 총 18개가 된다. 동시에 실험자에게는 1번 버튼, 2번 버튼, 3번 버튼으로 구성된 키보드가 주어지는데 시각자극으로 주어진 3개의 연속된 숫자조합 중 1개의 다른 숫자의 값과 일치하는 키보드 상의 숫자의 버튼을 눌러야 한다. 다음 예시와 같은 숫자 조합이 나타났을 때 실험자는 다음

과 같은 버튼을 누른다. 각 자극은 1.5초 동안 제시가 되며 1.5초의 interval을 두고 총 30개의 시각자극이 90초 동안 주어진다. 따라서 피실험자는 주어진 1.5초 동안의 시각자극에 대하여 행동학적 반응을 가급적 빨리 수행하여야 그 다음 자극에 대해 처리할 수 있다.

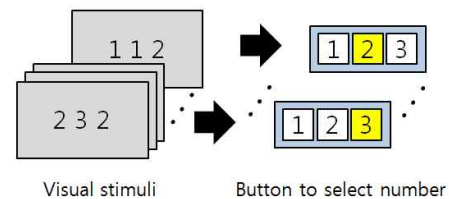


Figure 2. The visual stimuli protocol using ERP

본 연구에서 사용한 ERP는 외부자극이 일어난 시점에서 자극(시각자극, 청각자극 등)을 반복 제시한 후 수 msec 이내에 일어나는 뇌파의 크기 및 연 응답을 수치화 하여 나타내는 방법인데 본 연구에서는 ERP를 이용하여 시각자극을 제시함으로써 반복된 자극, 즉 Task 유발을 위해 사용하였다. 이처럼 순간적으로 숫자조합이 모니터에 나타나고 자극이 제시되는 짧은 순간동안 인지적인 처리에 의해 직관적으로 선택해야 하는 상황은 Toshikazu Shinba 등(2008)의 연구에서와 같이 Rest에 비해 스트레스와 관련된 불안 및 우울에 대한 심리적 유발을 일으킬 수 있다.

생체신호는 Biopac MP150의 PPG 100C 1채널 증폭기를 이용하여 PPG신호를 획득하였고 빛을 투과시키는 센서를 이용하여 손가락에 부착시켜 측정하였다.

2.3. 생체신호 분석 및 특징 추출

HRV 파라미터를 추출하는데 여러 가지 측정방법들과 계산방법들이 있지만, 사용하는 목적에 따라서 그에 맞는 방법들이 선택된다. 이들의 연구(A. John Camm et al., 1996)에서는 일반적으로 신호 측정 시 정밀한 시간 분해능의 HRV를 얻기 위해서는 최소 512Hz에서 1024Hz의 샘플링 된 ECG에서 추출하는 방법을 권장하고 있고, 본 연구에서는 PPG 신호의 샘플링을 1000Hz로 디지털화 하였고, PPG 신호로부터 추출된 HRV 파라미터에 대해 시간 영역에서 분석 방법과 주파수 영역에서 분석하는 방법을 이용하여 HRV 주요 파라미터 m_RRI(Mean RR interval: 평균 심박 간격), SDNN(Standard deviation of all NN intervals: 심박 표준편차), RMSSD(The root of mean of the sum

of the square of differences between adjacent NN intervals Heart Rate:인접한 RR간격의 차이의 제곱합의 평균값에 square root를 한 값), pNN50(NN50 count divided by the total number of all NN intervals: 인접한 RR간격의 차이가 50ms를 초과하는 RR간격의 개수가 전체 RR간격의 개수 중 몇 %를 차지하는 가에 대한 값), LF(Low-Frequency: 저주파 요소), HF(High Frequency: 고주파 요소), TP(Total Power: 전체 파워 값), LF/HF(LF/HF ratio: 저주파와 고주파의 비)의 총 8 가지 특징들을 추출하였다.

2.3.1. 시간 영역 분석

8개의 특징 중 4개의 특징은 약 3분 동안의 실험에서 측정된 PPG 신호로부터 시간영역에서 추출된 특징으로써 m_RRI, SDNN, RMSSD, pNN50가 이에 속한다. 아래의 식(1)~식(4)를 이용하여 시간영역에서의 HRV 파라미터를 계산한다.

$$mRRI = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (x_{i+1} - x_i) \quad (1)$$

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i)^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \quad (2)$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (x_{i+1} - x_i)^2} \quad (3)$$

$$pNN50 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \Theta(|x_{i+1} - x_i| - 50) \quad (4)$$

$$\Theta(m) = \begin{cases} 1, & m \geq 0 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

2.3.2. 주파수 영역 분석

시간 영역 분석 상에서 신호들의 진동을 수학적으로 처리하여 주파수 영역으로 변환시키면 시간영역 상에서 육안으로 감별하기 어려운 주기적 신호를 쉽게 감별해낼 수 있다. 따라서 PPG 신호를 획득한 후 피크간격으로부터 추출된 HRV 파라미터들을 A. John Camm 등(1996)의 연구에서 계산한 방법을 이용하여 주파수 대역에서 분석하였다. 특징 추출 값에 영향을 줄 수 있는 저주파요소를 제거하였고 보간법(Interpolation)을 통

해 데이터 점들 사이에 대응되는 값을 출력하였다. 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 이용하여 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectrum Density, PSD)를 계산하였고 앞에 제시된 8개의 HRV 주요 파라미터 중 나머지 4개는 주파수 영역으로 변환시켜 TP, LF, HF, LF/HF를 추출하였다.

주파수 영역에서 PSD를 구하기 위해서는 구간(segments)별로 윈도우 $w(n)$ 를 중첩시켜 아래의 식(5)와 같이 계산한다.

$$x_i(n) = x(iL+n)w(n) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq n &\leq \text{Length } w(n) - 1 \\ 0 \leq i &\leq \text{Number of segments} - 1 \end{aligned}$$

LF, HF는 아래의 식(6), 식(7)을 이용하여 정규화 값으로 추출하며 단위는 ms^2 이다.

$$LF = \frac{LF}{\text{Total Power} - VLF} \times 100 \quad (6)$$

$$HF = \frac{HF}{\text{Total Power} - VLF} \times 100 \quad (7)$$

LF성분(0.04~0.15Hz)과 HF성분(0.15~0.4Hz)은 각각 교감신경과 부교감신경의 활동 그리고 부교감신경의 활동을 대변하는 생리학적 지표로 사용되고 있다. 주파수 영역에서의 특징 중 LF/HF는 자율신경계의 활동 중 교감신경과 부교감신경의 활동을 정규화 된 비례 값으로 내기 때문에 교감-부교감 신경의 균형도를 의미한다. 이 값이 증가하면 균형이 교감신경 쪽으로 편향되었음을 의미하며, 자율신경계를 정량화된 값으로 표현할 때 주로 사용되고 있다(U. Rajendra Acharya et al., 2006). TP는 자율신경계가 표현할 수 있는 전체 주파수 영역($\leq 0.4\text{Hz}$)의 파워 합으로 나타내어진다. 주파수 영역에서 추출한 HRV 파라미터들은 이들의 연구(U. Rajendra Acharya et al, 2006; Hagit Cohen et al, 1999)의 계산방법을 따르기 때문에 정규화 값으로 산출되지만, 시간 영역에서 추출한 HRV 파라미터들은 실험자간에 차이가 존재 하여 상관관계를 평가하기 위해서 추가적인 정규화 처리가 필요하다. 본 논문에서는 휴식상태와 스트레스 상태일 때의 비율 값으로 정규화 과정을 진행했고, 이것은 Toshikazu Shinba 등(2008)의 정규화 방법과 동일한 방법이다. 주파수영역

에서의 HRV 파라미터들은 각 주파수 영역별로 의미 있는 자율신경계의 활동으로 정의하고 생리학적 활동 지표로 사용되고, 교감-부교감신경의 활성정도를 확인할 수 있다(Nitzanyx et al., 1998; Toshikazu Shinba, 2008).

3. 결과

본 논문에서는 인간의 자율신경계의 활동을 반영하는 HRV 파라미터들과 불안 및 우울상태를 반영하는 설문평가 수치와의 상호연관성을 도출하기 위하여 정상인을 대상으로 PPG를 측정하였고 위에서 설명한 특징 추출방법을 통해 얻은 HRV 파라미터들과 주관적-설문 평가지(STAI-X-1, STAI-X-2, BDI)간의 피어슨(Pearson)상관관계 분석을 수행하였다. pearson 상관관계 분석은 두 개 이상의 변수들 간에 어떠한 연관성이 존재하는지를 알아보기 위한 방법으로 pearson 상관계수(R) 1에 가까울수록 양의 상관관계가 강해지고, -1에 가까울수록 음의 상관관계가 강해진다고 해석할 수 있다. 검정통계량(t)이 커지면 p-value가 작아지게 되고 의사결정 원칙에 따라 t의 절대 값에 해당하는 p-value가 통계적 유의성(p-value < 0.05)이 만족되면 자가 설문지의 수치와 생리학적 응답의 반응을 대변하는 HRV 파라미터 간에 서로 밀접한 관련이 있다고 평가할 수 있다.

$$R = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

$$t = r \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}} \quad (9)$$

Task/Rest의 ratio가 아닌 단순히 Task상태, Rest(Eye open)상태, Rest(Eye close)상태의 세 가지 상태에 대한 통계적 유의성은 피험자에 dependent한 결과를 초래한다. 즉, 실험자간의 개인별 차이가 크게 나타나기 때문에 시간영역에서의 통계적 유의성 분석에 영향을 주게 된다. 하지만 주파수 영역 분석 시 LF, HF를 추출할 때는 이미 정규화 과정을 거쳤기 때문에 개인별 차이에 대한 영향이 줄어들게 된다. 따라서 이 세 가지 상태에 대한 시간 영역의 HRV 파라미터 통계적 유의성은 분석에서 제외시켰다. Task/Rest(Eye open)상태와 Task/Eye close)상태에서는 각 Rest상태에 대한

Task의 비율이기 때문에 정규화 과정을 거쳐 분석되었다. 따라서 시간영역 분석에서도 개인별 차이에 대한 영향이 크지 않게 되어 이 두 가지 상태에 대해서는 시-주파수 영역 분석의 HRV 파라미터 통계적 유의성 분석을 수행하였다.

3.1. Task일 때의 주관적 설문 평가지 수치와 HRV 파라미터의 통계적 유의성

표 3. 은 PPG 신호에서 추출한 HRV 주파수 파라미터들과 BDI, STAI-X-1, 그리고 STAI-X-2 수치들과 상관관계를 나타낸 결과이다. STAI-X-1은 실험자의 상태를 나타내는 지표로써 LF, LF/HF와 유의한 상관관계(< 0.05)를 나타냄과 동시에 STAI-X-2보다 상대적으로 높은 상관관계(< 0.01) 값을 나타냈다. 특히 LF와 가장 높은 상관관계를 나타냈다. STAI-X-2는 기질을 평가하는 지표로써 LF, HF, LF/HF와 유의한 상관관계를 나타냈다. 반면에 BDI 수치는 STAI-X-1과 2에 비교해서 낮은 상관관계뿐만 아니라 유의한 HRV 파라미터들도 나타내지 못했다. 그 중 LF/HF 특징은 BDI 수치와 유일하게 통계적으로 유의한 상관관계를 나타냈지만 STAI-X-1과 2와 상대적으로 비교해볼 때 낮은 상관관계를 나타냈다. 이것은 실험자에게 스트레스를 유발했을 때 영향을 받은 자율신경계의 활동이 BDI 수치와 상관관계가 낮다는 의미로 해석될 수 있다.

Table 3. The statistical significance tests and correlation between paper-based questionnaires(STAI,BDI)and frequency parameters of HRV during the task.

| Task(n=38) | | | | | | |
|------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|
| HRV | BDI | | STAI-X-1 | | STAI-X-2 | |
| | R | P val | R | P val | R | P val |
| LF | 0.190 | 0.101 | 0.456 | 0.000 ** | 0.349 | 0.002 ** |
| HF | -0.024 | 0.835 | -0.169 | 0.145 | -0.236 | 0.040 * |
| TP | -0.010 | 0.934 | -0.160 | 0.167 | 0.133 | 0.252 |
| LF/HF | 0.239 | 0.037 * | 0.471 | 0.000 ** | 0.348 | 0.002 ** |

* p-val < 0.05 ** p-val < 0.01

3.2. Rest(Eye open)일 때의 주관적 설문 평가지 수치와 HRV 파라미터의 통계적 유의성

표 4. 는 실험자에게 인위적인 스트레스 유발뿐만

아니라 아무런 자극이 없는 Res(Eye open)일 때 HRV 주파수 파라미터의 값과 설문 평가 지들의 수치와 상관관계를 나타낸 결과이다. STAI-X-2의 설문결과와 LF, LF/HF와의 유의한 상관관계를 나타냈지만 STAI-X-1과 BDI의 수치들 간의 상관관계는 없는 것으로 나타났다. 이것은 눈을 뜬 Rest 상태일 때 기질적인 특성을 자율신경계의 활동을 수치화된 HRV 파라미터들, 즉 LF, LF/HF로 기질적 불안특성을 추정할 수 있는 가능성을 나타내주고 있다. 하지만 상태나 BDI와는 상관관계가 없다고 해석할 수 있다.

Table 4. The statistical significance tests and correlation between paper-based questionnaires(STAI,BDI) and frequency parameters of HRV during the rest(eye open)

| REST(EYE open) (n=19) | | | | | |
|-----------------------|-------|---------|----------|---------|----------------|
| HRV | BDI | | STAI-X-1 | | STAI-X-2 |
| | R | P val | R | P val | R P val |
| LF | 0.184 | 0.269 - | 0.148 | 0.408 - | 0.459 0.004** |
| HF | 0.007 | 0.965 - | -0.176 | 0.292 - | -0.198 0.233 - |
| TP | 0.071 | 0.670 - | 0.098 | 0.557 - | 0.032 0.847 - |
| LF/HF | 0.275 | 0.095 - | 0.210 | 0.206 - | 0.487 0.002** |

※ * p-val < 0.05 ** p-val < 0.01

3.3. Rest(Eye close)일 때의 주관적 설문 평가지 수치와 HRV 파라미터의 통계적 유의성

표 5. 는 눈을 감은 상태에서 아무런 자극이 없는 Rest일 때 HRV 주파수 파라미터 값과 설문 평가 지들의 수치와의 상관관계를 나타낸 결과이다. 이는 눈을 뜬 상태의 Rest 일 때와 유사한 결과를 나타냈다. 즉, Rest일 때는 눈을 뜬 상태나 눈을 감은 상태간의 LF와 LF/HF 상관관계의 차이가 크게 나타나지 않았지만 그 중 눈을 뜬 상태에서 더 높은 양의 상관관계를 나타냈고, Rest(Eye open)에서의 통계적 유의성이 만족되는 HRV 파라미터로 LF, LF/HF가 교감신경계의 활동을 대변하는 요소들로 선택되었다.

Table 5. The statistical significance tests and correlation between paper-based questionnaires(STAI,BDI)and frequency parameters of HRV during the rest(eye close)

| REST(EYE close) (n=19) | | | | | |
|------------------------|--------|---------|----------|---------|----------------|
| HRV | BDI | | STAI-X-1 | | STAI-X-2 |
| | R | P val | R | P val | R P val |
| LF | 0.149 | 0.371 - | -0.006 | 0.969 - | 0.386 0.017 * |
| HF | 0.023 | 0.890 - | -0.113 | 0.498 - | 0.092 0.582 - |
| TP | -0.134 | 0.423 - | -0.013 | 0.940 - | -0.069 0.682 - |
| LF/HF | 0.190 | 0.252 - | 0.058 | 0.731 - | 0.407 0.011 * |

※ * p-val < 0.05 ** p-val < 0.01

3.4. Task/Rest(Eye open), Task/Rest(Eye close) 일 때의 주관적 설문 평가지 수치와 HRV 파라미터의 통계적 유의성

표 6.과 표 7.의 결과는 HRV 시-주파수 영역의 파라미터들과 설문평가 수치의 상관관계를 나타낸 결과이다. HRV에서 추출할 수 있는 시-주파수 영역의 특징들을 실험자마다 Task/Rest를 통한 정규화 과정을 거쳐 설문평가 수치들과의 상관관계를 분석하였다. 즉, 각 실험자의 Rest일 때 추출된 HRV 파라미터들로 정규화를 진행했기 때문에 개인 간 차이에 대한 영향이 감소하며 Task로 인한 스트레스로 실험자의 자율신경계 변화에 좀 더 민감한 특성을 나타낸다고 해석될 수 있다.

표 6. 은 Task/Rest를 눈을 뜬 상태로 정규화한 결과이고 표 7. 은 Task/Rest를 눈을 감은 상태로 정규화한 결과이다. STAI-X-1의 설문지 수치와 스트레스로 인한 변화로 인한 HRV 파라미터, 즉 m_RRI, SDNN, LF, LF/HF 파라미터와 서로 유의한 상관관계를 나타냈고 표 7.의 결과도 동일하게 나타났다. 그 중 LF/HF 특징이 가장 높은 상관도를 나타냈고 실험자의 현재 심리 상태를 나타내는 STAI-X-1이 자율신경계의 민감한 변화와 높은 상관관계를 나타내는 동시에 HRV의 정규화 파라미터들(m_RRI, SDNN, LF, LF/HF)중 LF/HF가 가장 밀접한 상관관계가 있다는 것을 의미한다. 표 6.와 표 7.의 주목할 차이점은 눈을 감을 때 정규화한 HRV 파라미터들(m_RRI, SDNN, LF, LF/HF)이 STAI-X-1의 설문평가수치와 더 큰 상관계수를 나타냈다는 점이다. 이와 같은 결과는 눈을 감고 Task를 수

행할 때의 정규화한 수치가 자율신경계에 민감한 변화를 초래한다고 해석될 수 있다.

Table 6. The statistical significance tests and correlation between paper-based questionnaires(STAI,BDI)and time-frequency parameters of HRV during the task/rest(eye open)

| TASK/REST(EYE open) (n=19) | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|---------|
| HRV | BDI | | STAI-X-1 | | STAI-X-2 | |
| | R | P val | R | P val | R | P val |
| m_RRI | 0.081 | 0.489 - | 0.337 | 0.003 ** | 0.125 | 0.282 - |
| SDNN | 0.190 | 0.100 - | 0.292 | 0.010 * | 0.231 | 0.045 * |
| RMSSD | -0.153 | 0.188 - | 0.037 | 0.749 - | -0.024 | 0.838 - |
| pNN50 | -0.066 | 0.569 - | 0.140 | 0.228 - | 0.115 | 0.324 - |
| LF | 0.129 | 0.267 - | 0.297 | 0.009 ** | 0.109 | 0.350 - |
| HF | -0.228 | 0.048 * | -0.104 | 0.371 - | -0.021 | 0.858 - |
| TP | -0.100 | 0.392 - | -0.183 | 0.113 - | 0.036 | 0.759 - |
| LF/HF | 0.096 | 0.409 - | 0.307 | 0.007 ** | 0.112 | 0.335 - |

※ * p-val < 0.05 ** p-val < 0.01

Table 7. The statistical significance tests and correlation between paper-based questionnaires(STAI,BDI) and time-frequency parameters of HRV during the task/rest(eye close)

| TASK/REST(EYE close) (n=19) | | | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|---------|
| HRV | BDI | | STAI-X-1 | | STAI-X-2 | |
| | R | P val | R | P val | R | P val |
| m_RRI | 0.027 | 0.819 - | 0.407 | 0.000 ** | 0.066 | 0.571 - |
| SDNN | 0.048 | 0.678 - | 0.384 | 0.001 ** | 0.277 | 0.015 * |
| RMSSD | -0.046 | 0.693 - | 0.178 | 0.125 - | 0.147 | 0.206 - |
| pNN50 | 0.132 | 0.255 - | 0.351 | 0.002 ** | 0.085 | 0.468 - |
| LF | 0.122 | 0.292 - | 0.372 | 0.001 ** | 0.114 | 0.327 - |
| HF | 0.107 | 0.358 - | 0.179 | 0.122 - | 0.000 | 0.997 - |
| TP | 0.021 | 0.860 - | -0.146 | 0.209 - | 0.075 | 0.521 - |
| LF/HF | 0.119 | 0.307 - | 0.412 | 0.000 ** | 0.108 | 0.353 - |

※ * p-val < 0.05 ** p-val < 0.01

주관적 설문 평가지는 우울과 불안을 평가하는 것으로써 이 수치가 높을수록 부정적인 심리상태를 반영한다고 할 수 있다. 또한 본 논문에서는 공통적으로 LF/HF를 유의한 HRV 파라미터로 선택하였고 이 값

이 증가하면 교감신경계로 편향되었음을 의미하며 불안하고 심리적으로 편안하지 못한 상태인 높은 주관적 설문 평가지 수치와 관련이 있기 때문에 양의 상관관계에 있다는 의미로 해석될 수 있으며 위의 결과에서 확인할 수 있는 것처럼 유의한 상관관계를 나타낸다. 하지만 모든 HRV 파라미터 값이 교감신경계와 양의 상관관계가 있다는 해석은 무리가 있을 수 있으며, 본 논문에서는 각 상태에 따른 유의한 HRV 파라미터에 대해 분석하였다. 그 중 LF/HF는 5가지 상태에서 모든 설문 평가지표와 공통적으로 유의한 HRV 파라미터로 나타났고 LF는 위 5가지 상태에서 불안을 반영하는 STAI-X-1, STAI-X-2 설문 평가 지표 값들과 공통적으로 유의한 상관관계를 나타낸 HRV 파라미터로 나타났다.

4. 고찰 및 결론

본 연구의 목적은 HRV를 기반으로 한 감성상태를 반영하는 주관적 설문 평가지표를 정량적으로 대체할 수 있는 자율신경계 요소를 찾는 것과 동시에 인간의 심리상태(우울, 불안)가 어떠한 HRV 파라미터로써 잘 대변될 수 있는가에 대한 방법을 찾는 것에 있다. 따라서 본 논문에서는 정상인을 대상으로 PPG신호를 획득하였고 추출된 HRV 파라미터 특징 값과 불안 및 우울상태를 반영하는 주관적 설문 평가지(BDI, STAI-X-1, STAI-X-2)간의 Pearson 상관관계 분석을 수행하였다. t의 절대 값에 해당하는 p-value가 통계적 유의성(p-value < 0.05)이 만족되면 자가 설문지의 수치와 생리학적 응답을 대변하는 HRV 파라미터 간에 서로 밀접한 관련이 있다고 평가할 수 있고 본 논문의 결과는(Toshikazu Shinba et al., 2008; Axel Bauer et al., 2008; Joel W. Hughes, Ma & Catherine M. Stoney, 2000)에서 분석한 것처럼 통계적 유의성이 만족되는 HRV 파라미터를 추출 하였다. 실험에 참가한 모든 실험자들은 실험 당시 심리상태나 기질적인 특성을 반영하도록 주관적 설문 평가지(BDI, STAI-X-1, STAI-X-2)를 작성하도록 하였다. 실험자들의 생체신호를 측정함에 있어, 비교적 측정이 편리한 PPG를 사용하였고 PPG신호에서 추출한 HRV의 시-주파수 영역의 파라미터로는 m_RRI, SDNN, RMSSD, pNN50, LF, HF, TP, LF/HF가 있다.

그 중 LF/HF는 계산방법이 정규화 과정이 이미 포함되어 있으며 Task, Rest(Eye open), Rest(Eye close),

Task/Rest(Eye open), Task/Rest(Eye close)의 총 5가지의 상태에서의 3가지 설문지 지표 값(BDI, STAI-X-1, STAI-X-2)들과 상관관계 분석에서 공통적으로 유의미한 특성을 보여준 HRV 파라미터로 나타났다. 또한 LF는 위 5가지 상태에서 불안을 반영하는 STAI-X-1, STAI-X-2 설문 평가 지표 값들과 유의한 상관관계를 나타낸 HRV 파라미터로 나타났다. LF, LF/HF의 값이 클수록 생리학적으로 교감신경계로 편향되었음을 의미하며 이 값과 주관적 설문평가 지표 값과 유의미한 상관관계를 나타내는 것으로 보아 심리학적으로 실험자의 정신 상태에 긴장 및 스트레스가 유발되었다고 추정할 수 있다.

결론적으로 총 5가지의 상태에서 HRV 파라미터 값과 주관적 설문 평가지의 수치와의 상관관계 분석 결과 공통적으로 LF는 불안을, LF/HF는 불안 및 우울상태를 반영하는 HRV 파라미터로 볼 수 있다. Rest(Eye open)상태와 Rest(Eye close)상태에서는 두 가지 상태 중 Rest(Eye open)가 불안상태를 나타내는 STAI-X-1보다 기질적 불안 특성을 나타내는 STAI-X-2와의 상관관계가 더 높게 나타났지만, 큰 차이를 나타내지는 못했다. 또한 정규화 상태인 Task/Rest(Eye open)상태와 Task/Rest(Eye close)상태에서는 전반적으로 HRV 파라미터들은 BDI보다는 STAI-X-1, STAI-X-2의 지표 값과 더욱 상관관계가 높음을 나타냈고 결과적으로 Task로 인한 스트레스가 자율신경계 변화에 더 민감함을 나타내었다고 볼 수 있다.

위 결과를 바탕으로 PPG신호로부터 추출된 HRV 파라미터들이 정상인의 정신-생리학적 상태를 정량적으로 측정하고 그 변화를 감지하는 데에 유용한 연구가 될 것이며, 앞의 주관적 설문 평가지에서 성별에 의한 평균차이가 나타났다는 점에서 추후 연구과제로서 본 논문의 의미 있는 틀로써 활용될 수 있음을 보여주고 있다.

참고문헌

- 이영호, 송종용. (1991). BDI, SDS, MMPI-D 척도의 신뢰도 및 타당도 에 대한 연구, *한국 심리 학회 지*, 15(1), 98-113.
- 이현민, 김동준. (2009). 맥파의 주기 검출 성능 개선에 관한 연구, *전기학회논문지*, 58(6), 1194-1199.
- A. John Camm, Marek Malik, J. Thomas Bigger, Jr., Günter Breithardt, Sergio Cerutti, Richard J. Cohen, Philippe Coumel, Ernest L. Fallen, Harold L. Kennedy, Robert E. Kleiger, Federico Lombardi, Alberto Malliani, Arthur J. Moss, Jeffrey N. Rottman, Georg Schmidt, Peter J. Schwartz., & Donald H. Singer. (1996). Heart rate variability; Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *European Heart Journal*, 17, 354-381.
- Aaron T. Beck. (1967). *Depression: Clinical, Experimental and Theoretical Aspects*, New York, Harper & Row.
- Axel Bauer., Marek Malik., Georg Schmidt., Petra Barthel., Hendrik Bonnemeier., Iwona Cygankiewicz., Przemyslaw Guzik., Federico Lombardi., Alexander Müller., Raphael Schneider., Mari Watanabe., Dan Wichterle., & Wojciech Zareba. (2008). Heart Rate Turbulence: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinic Use, *Journal of the American College of Cardiology*, 52(17), 1353-1365.
- Carmilla M. M. Licht., Eco J. C. de Geus., Richard van Dyck., & Brenda W. J. H. Penninx. (2009). Association Between Anxiety Disorders and Heart Rate Variability in the Netherlands Study of Depression and Anxiety (NESDA), *Psychosomatic Medicine*, 71, 508-518.
- G. Laretzaki., S. Plainis., S. Argyropoulos., I.G. Pallikaris., & P. Bitsios. (2010). Threat and anxiety affect visual contrast perception, *Journal of Psychopharmacology*, 24(5), 667-675.
- Hagit Cohen., Michael A., Matar Zeev Kaplan., & Moshe Kotler. (1999). Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability in Psychiatry, *Psychotherapy and Psychosomatics*, 68, 59-66.
- Joel W. Hughes, Ma. & Catherine M. Stoney. (2000). Depressed Mood Is Related to High-Frequency.
- Nitzanyx, M., Babchenko, A., Khanokh, B., & Landau, D. (1998). The variability of the photoplethysmographic signal - a potential method for the evaluation of the autonomic nervous system. *Physiological Measurement*, 19(1), 93 - 102.
- Philip C. Kendall., Steven D. Hollon., Aaron T. Beck., Constance L. Hammen., & Rick E. Ingrain. (1987). Issues and Recommendations Regarding Use of the Beck Depression Inventory, *Cognitive Therapy and Research*, 11(3), 289-299.

- Peter A. Shapiro., Richard P. Sloan., Emilia Bagiella., John P. Kuhl Satish Anjilvel., & J. John Mann. (2000). Cerebral activation, hostility, and cardiovascular control during mental stress, *Journal of Psychosomatic Research*, 48, 485-491.
- R. P. SLOAN., P. A. SHAPIRO., E. BAGIELLA., J. T. BICGER., JR, E. S. LO., & J. M. GORMAN. (1996). Relationships Between Circulating Catecholamines and Low Frequency Heart Period Variability as Indices of Cardiac Sympathetic Activity During Mental Stress, *Psychosomatic Medicine*, 58(1), 25-31.
- Spielberger, Gorsuch. & Lushene. (1970). *State-Trait Anxiety Inventory (STAI)*, Statistics Solutions.
- Spielberger, CD. (1983) *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*, CA, Consulting Psychologists Press.
- Toshikazu Shinba., Nobutoshi Kariya., Yasue Matsui., Nobuyuki Ozawa., Yoshiki Matsuda., & Ken-ichi Yamamoto. (2008). Decrease in heart rate variability response to task is related to anxiety and depressiveness in normal subjects, *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 62, 603-609.
- U. Rajendra Acharya., K. Paul Joseph., N. Kannathal., Choo Min Lim., & Jasjit S. Suri. (2006). Heart rate variability: a review, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031-1051.

원고접수 : 2012.04.30

수정접수 : 2012.08.02

게재확정 : 2012.08.27